



心於至善

# 电机学绪论

黄允凯

东南大学电气工程学院



1

概述

2

电机的磁路和磁路定律

3

电机的电磁基本理论

4

电机的制造材料



## •本课程的研究对象

电机（**Electrical Machine / Electric Machinery**）：

机电能量转换装置，机械能量的运动方式可以是旋转的，也可以是直线的。

- 转换是双向的，大部分应用的是电磁感应原理。
- 由机械能转换成电能的电机，通常称做“**发电机**” (Generator)
- 把电能转换成机械能的电机，被称做“**电动机**” (Motor)
- 变压器虽不涉及机电能量转换，但它是重要的能量转换设备，基于电磁感应原理，也算作电机

与电能生产、输送和应用有关的能量转换装置

一种以磁场作为中间媒介进行双向能量转换的装置



# 概述

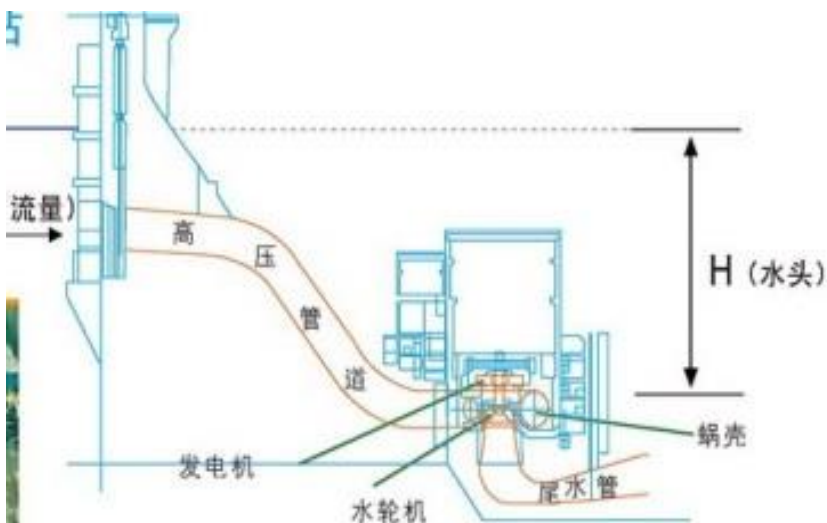
## 三峡



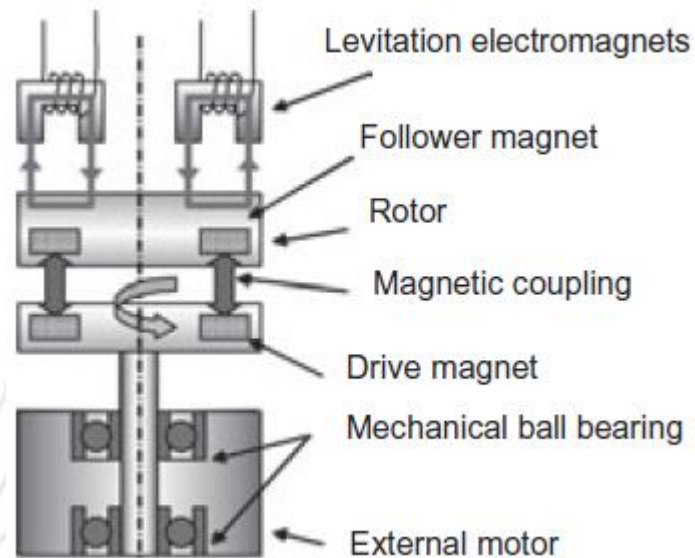
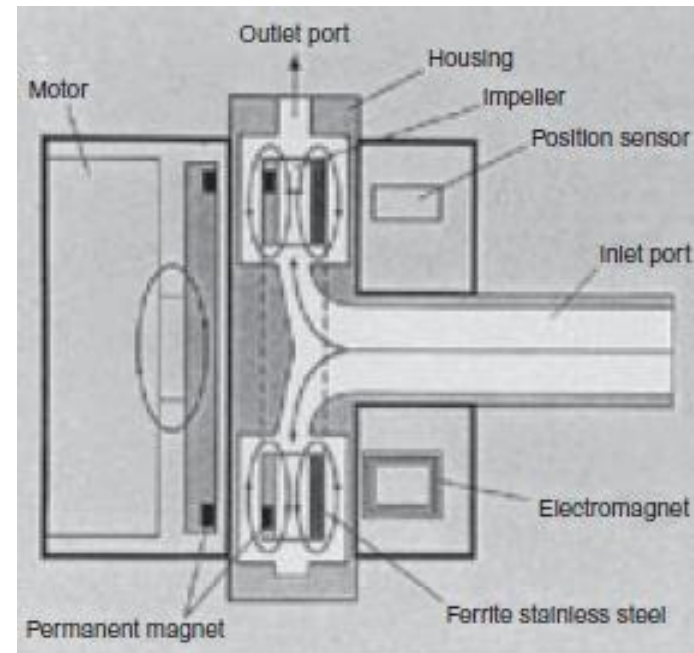
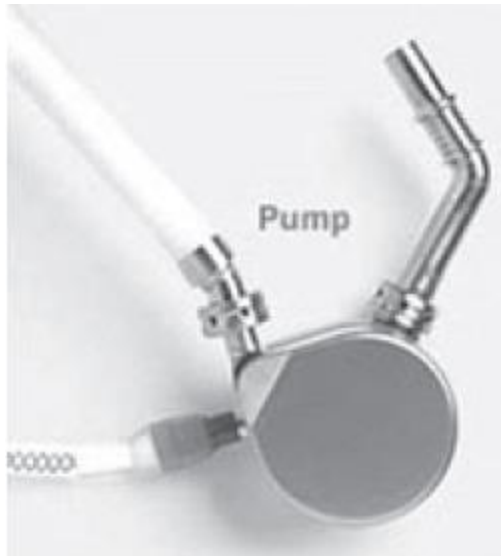
左右岸26台发电机组都是70万千瓦水轮发电机组。这些机组分别是VGS(伏伊特、GE、西门子联合体)、ALSTOM(阿尔斯通)、ABB、中国哈电、东电生产的



铁芯高度2.954m，定子铁芯内径18.8m，槽数540，80极，额定电流22.453kA，20kV，777.8MVA/700MW

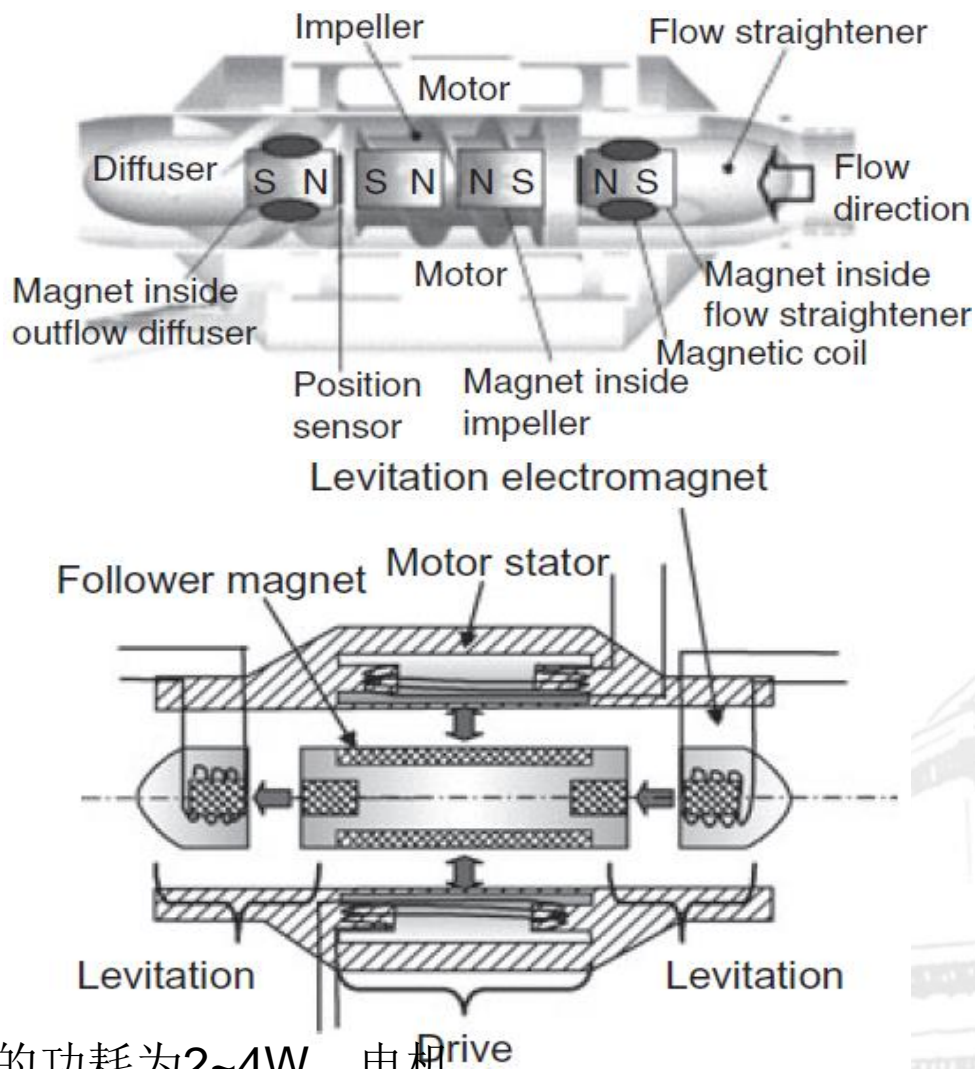
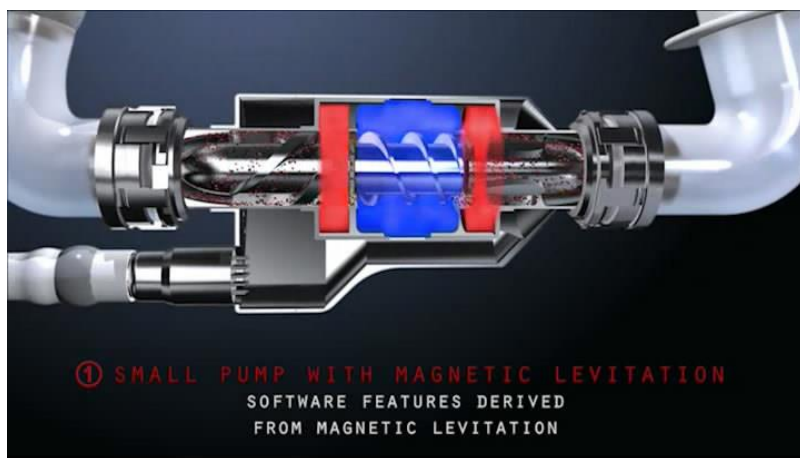


## 人工心脏



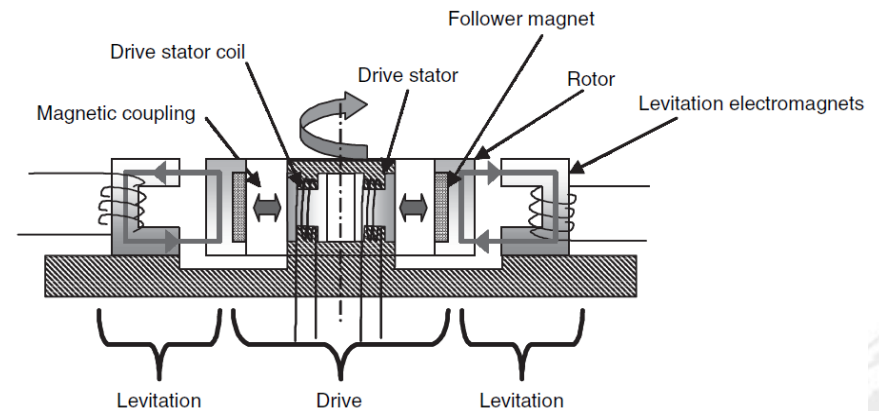
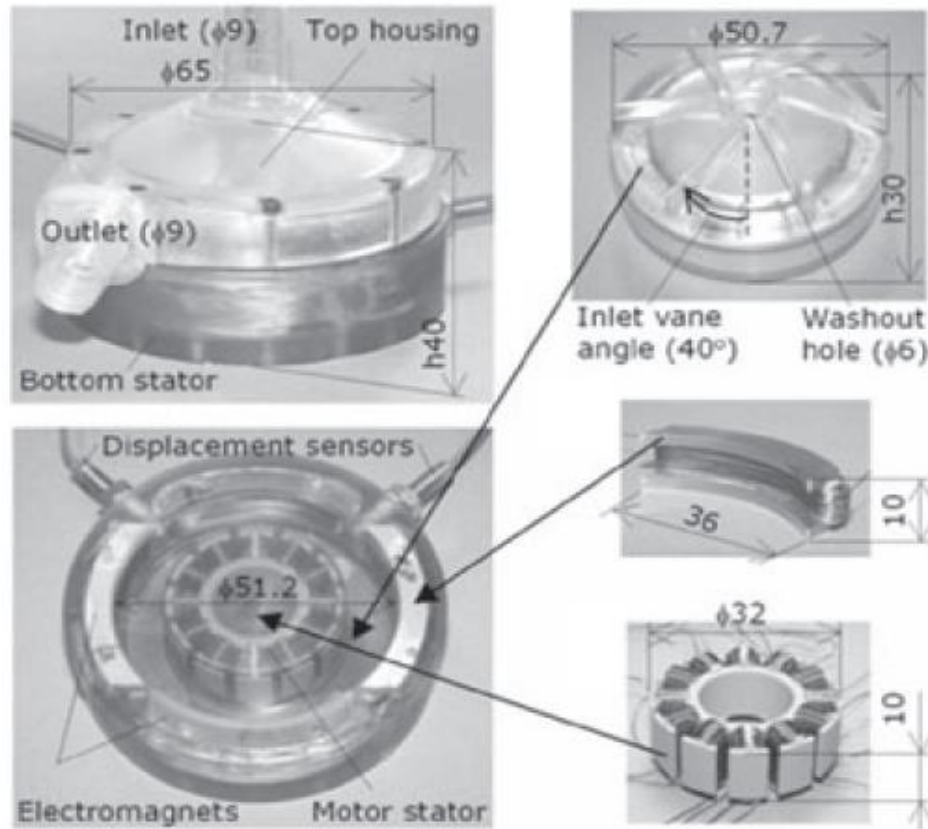


## 人工心脏

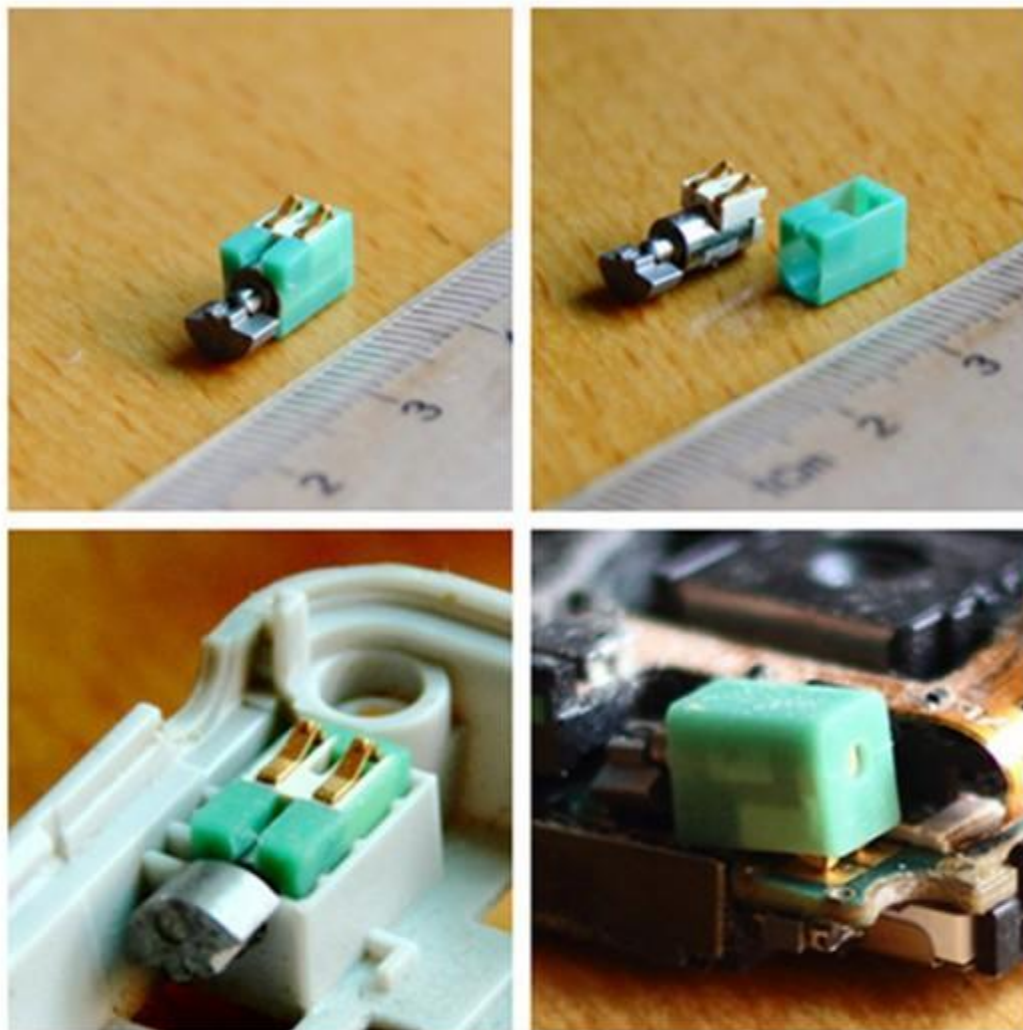


转速为5000~10000rpm，电磁悬浮系统的功耗为2~4W，电机功耗小于4W，电机效率大于90%，泵体由钛合金制成，轴向长120mm，外径30 mm，容量80ml

## 人工心脏



## 手机振动





# 概述

## 特斯拉



- 机器人、机器手
- 高铁、地铁
- 磁悬浮列车
- 电磁武器
- 厨房电器、白色家电
- 电动.....



**发电机**: 由原动机拖动, 将机械能转换为电能  
**电动机**: 将电能转换为机械能, 驱动电力机械  
**变压器、变流机、变频机、移相器**:  
    分别用于改变电压、电流、频率和相位  
**控制电机**: 进行信号的传递和转换, 控制系统中的执行、检测或解算元件

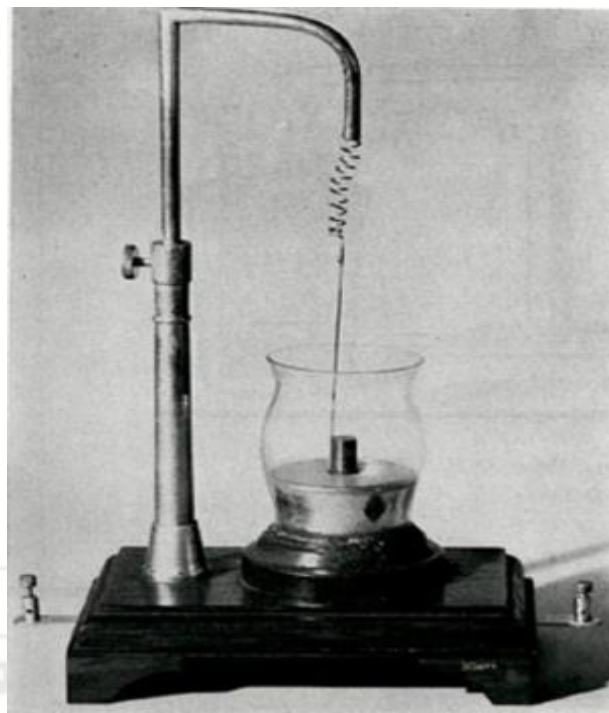
**变压器**  
**旋转电机** { **直流电机**  
                  { **交流电机** { **异步电机**  
                                  { **同步电机**

还会碰到很多电机名称, 如永磁电机、开关磁阻电机、超声波电机等等。  
两学期, 共**96**学时, 期末闭卷考试。另外还有实验**16**学时

**QQ Group:725042612**

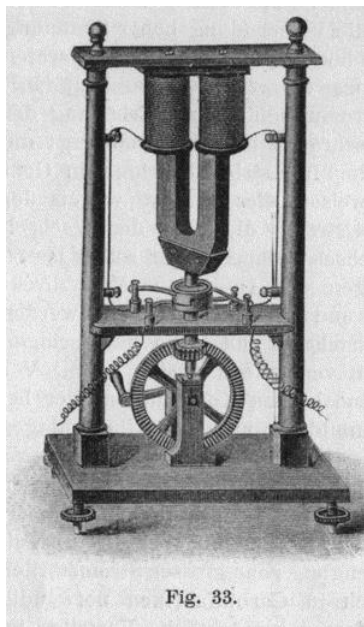


- 1800亚历山大·伏打（意大利）从一叠银和锌板中，发现了一个连续的电力（相对于火花或静电）。
- 1820汉斯·克里斯蒂安·奥斯特（丹麦）发现了电流的磁效应。通过电流使磁针发生偏转，这是第一次发现一个由电流引起的机械运动。
- 1821迈克尔·法拉第（英国）演示了电磁旋转实验。第一次实现了电磁运动向机械运动的转换，从而建立了电动机的实验室模型。

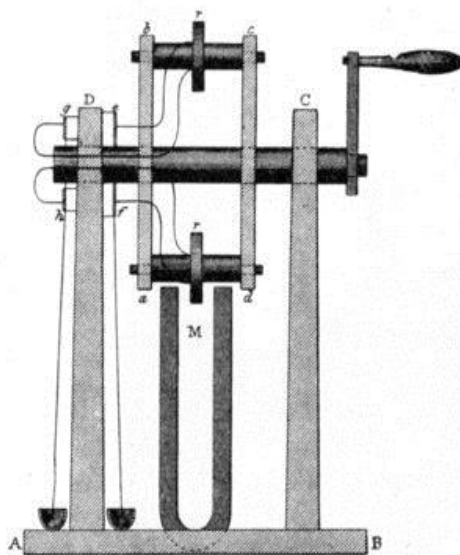




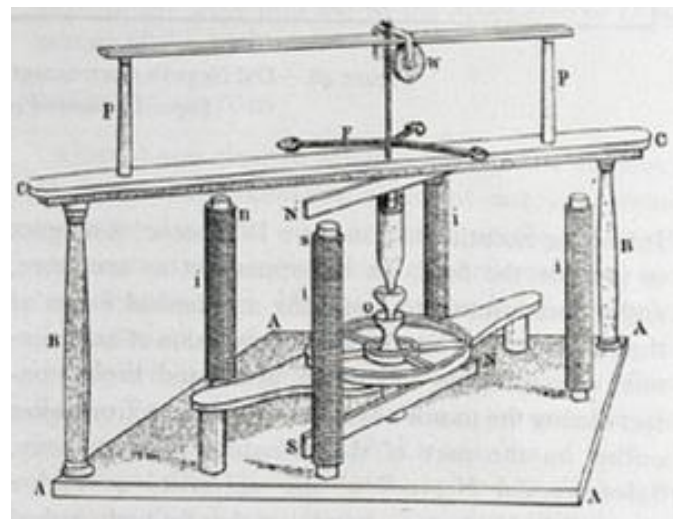
- **1831年**迈克尔·法拉第（英国），发现并研究电磁感应现象，即变化的磁场可以产生电流，为发电机的发展奠定了基础。同在**1831年**约瑟夫·亨利（美国）和法拉第一样发现了感应定律，他和法拉第没有任何交流沟通。



皮克西（法国）  
旋转磁极式直流发电机  
1832-1833

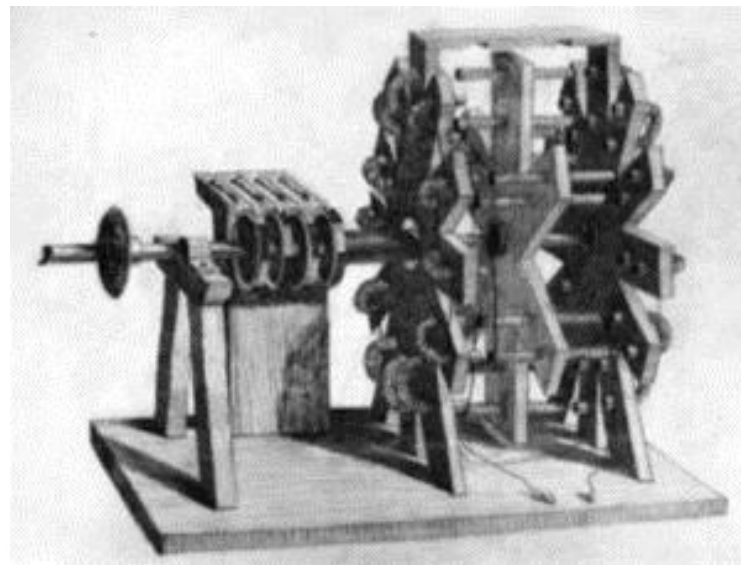
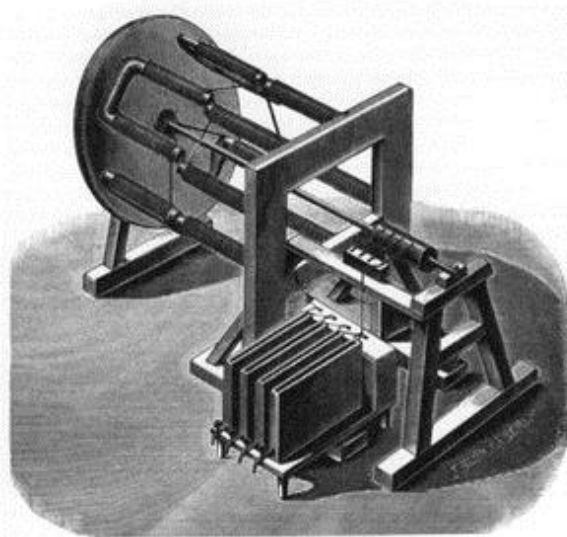


威廉·里奇（英国）  
配备换向器的直流发电机  
1832-1833

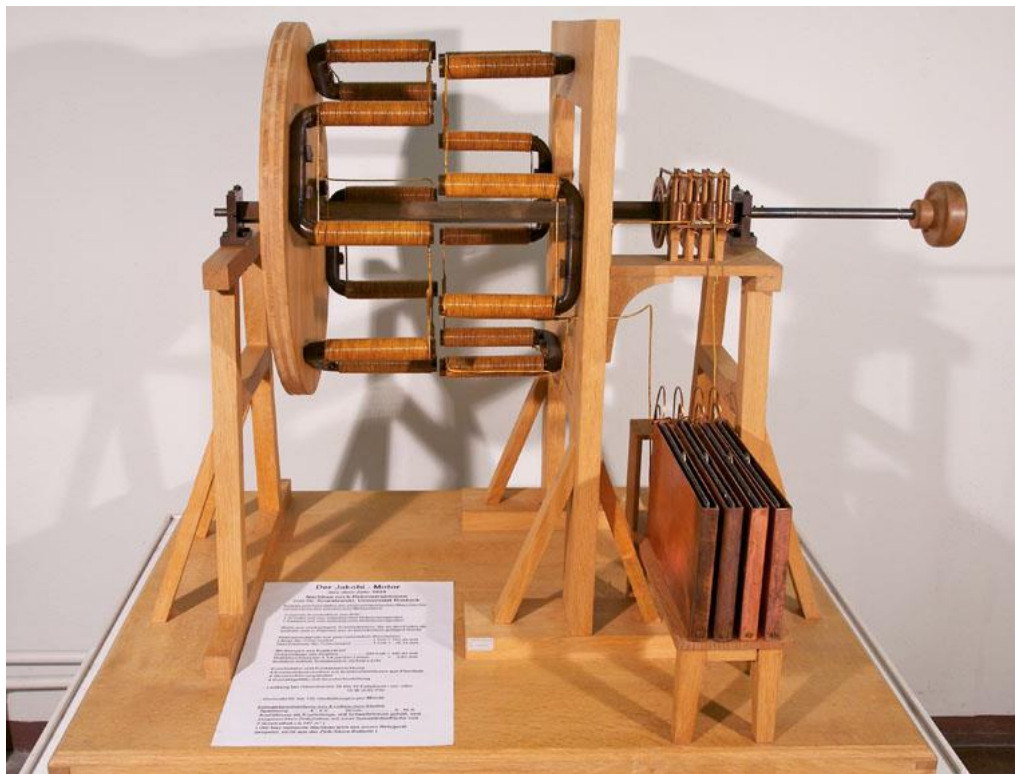


司德金（英国）  
旋转装置  
1832

- **1833年**，德国人海因里希·弗里德里希·埃米尔·伦茨就发表了有关的磁电和电磁现象对等的一篇文章，即发电机和电动机的可逆性。
- **1834年5月**，德国普鲁士人—莫里茨雅比，创建了第一台真正能产生机械输出功率的旋转电机。四年后他改进发明了第二个电机，该电机可驱动一艘载有**14人**的轮船渡河



# 概述

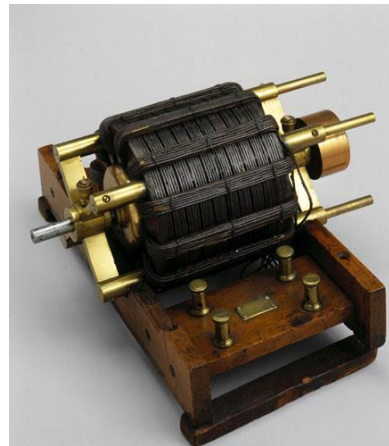
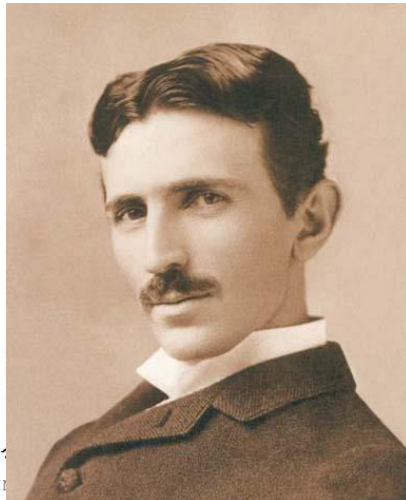




- **1835年**，两位荷兰科学家斯布兰度斯和克里斯托弗·贝克尔建立了一个电动机，并且由之驱动一个小模型车。这是迄今为止人们所知的第一个电动机实际应用。而第一个电动机的专利，在**1837年2月**被授予美国科学家托马斯·达文波特。
- 直流电动机是由发电机的发展所带出。由于威廉·里奇和伊波利特·皮克西在**1832年**成功发明了换向器，更为重要的是，维尔纳西门子公司在**1856年**发明了双T型锚，他的总工程师，弗里德里希·海夫纳在**1872年**又一次创造性的发明了鼓电枢。直到今日，直流电动机仍然在低功率（低于1千瓦）和低电压（低于**60 V**）范围内的市场上占据主导地位。
- 1864年，英国特理学家麦克斯韦（Maxwell）提出了麦克斯韦方程组，创立了完整的经典电磁学理论体系，为电机电磁场分析奠定基础。



- **1885年至1889年**，三相电力系统诞生。而该系统的基础是现代电力传输和先进的电动机的发明。对于三相电力系统中的发明者众多，无法单独命名。有几个或多或少广为人知的名字都是深入参与其中的（布拉德利， 都波瓦斯基， 法拉利， 海斯万德， 特斯拉和温斯德姆）
- **1888年**，弗拉利斯在意大利科学院提出了“利用交流电来产生电动旋转”的经典论文。同一时期（**1886~1888年**），特斯拉亦独立地从事于旋转磁场的研究和试验，而且和弗拉利斯互不相涉和几乎同时地发明了感应电动机。

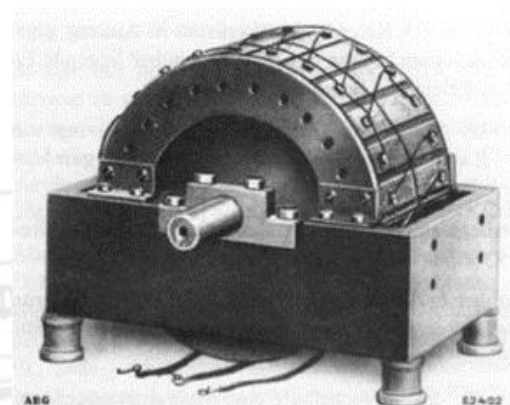
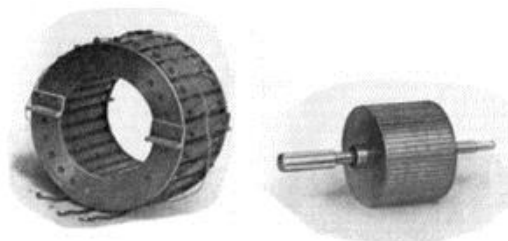


•今天，三相同步电动机大多应用在高性能要求的应用上（例如机器人和电动汽车）。它是于**1887**年由弗里德里希奥古斯特首先开发的。

•**1889**年，三相笼型异步电动机由迈克尔·道里弗·道博瓦斯基（俄罗斯裔瑞士籍）首先创建。直到今天，三相笼型异步电动机依然是1千瓦以上的功率范围内最常见的生产机器中。



Dr. Ing. h. c. Friedrich Aug. Gaismayers Drehstrom-Maschine



- 1893年左右，开耐莱（Kenelly）和司坦麦茨（Steinmetz）开始利用复数和向量来分析交流电路。
- 1894年，海兰（Heyland）提出“多相感应电机和变压器性能的图解确定法”的论文，是感应电机理论中的第一篇经典性论文。同年，弗拉利斯已经采用把脉振磁场分解为二个大小相等、转向相反的旋转磁场的办法来分析单相感应电动机；虽然弗拉利斯所得的结果仍不免于错误，但是他所用的方法，却对旋转电机的理论分析有着不可磨灭的贡献，这种方法以后被称为双旋转磁场理论。
- 1895年，波梯（Potier）和乔治（Goetze）建立了交轴磁场理论。
- 1899年，在研究凸极同步电动机的电枢反应时，勃朗台尔（Blondel）提出双反应理论；这个理论后来被道黑提（Doherty）、尼古尔（Nickle）和派克（Park）等人所发展，成为现代同步电机理论的基础。

- 电机领域国际研究趋势

- 新类型电机
- 控制，与系统集成
- 高效、节能

- 东南大学电机专业介绍

全国第一批博士点单位

校内教授及海外兼职教授

主要研究课题





电在电机中以路的形式出现

磁在电机中以场的方式出现

## • 磁场、磁路

磁场是电流、运动电荷、磁体或变化电场周围空间里存在的一种特殊形态的物质

基本特性是对场中运动带电粒子施加力，或对场中有磁矩的粒子及物体施加转矩

磁场过于复杂，在工程计算中经常简化为磁路

## • 磁感应强度、磁通量

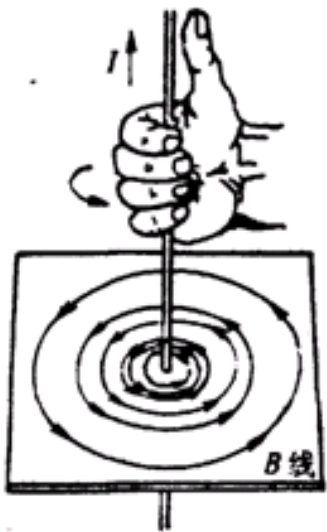
➤ **B** —— **Flux density**，矢量，表示磁场的大小和方向,单位：T

用假想的曲线来表示磁场的分布，称为**磁力线**

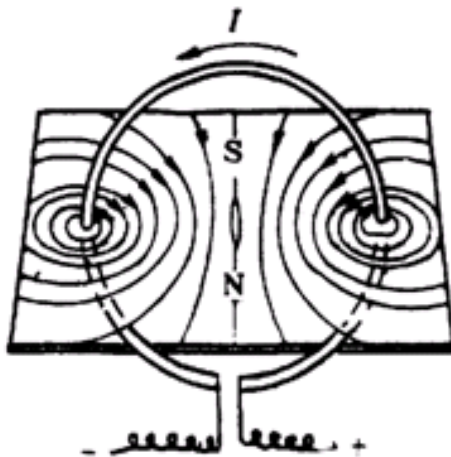
- 用磁力线上每点的切线方向规定**B**的方向
- 用磁力线的疏密程度表示**B**的大小



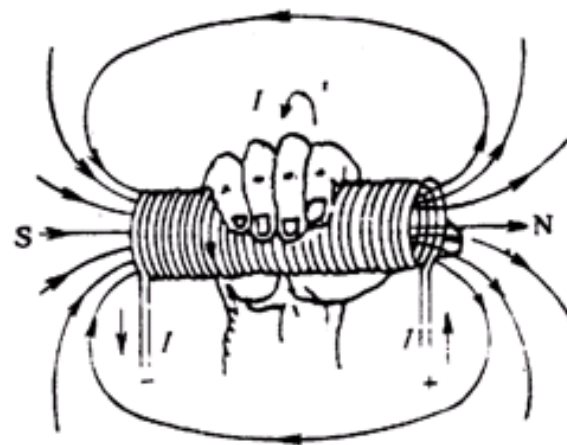
# 电机的磁路和磁路定律



长导线



环形导线



螺线管

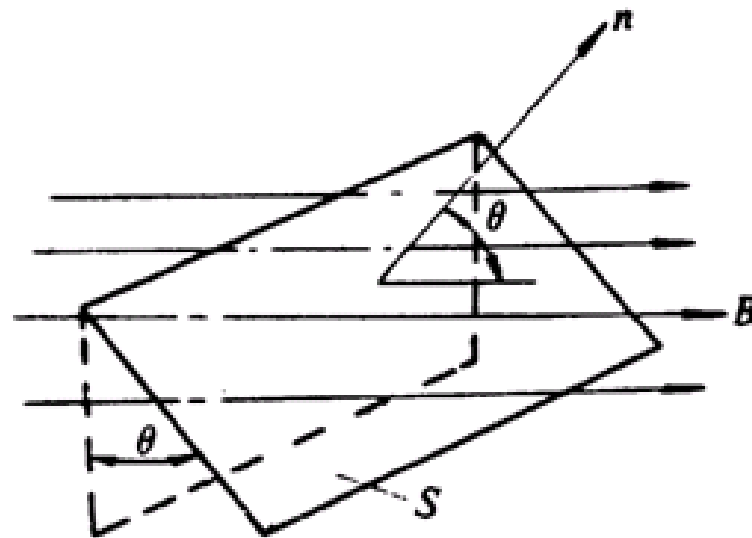
- (1) 磁感应线的回转方向和电流方向之间的关系遵守**右手螺旋法则**
- (2) 磁场中的磁感应线不相交，每点的磁感应强度的方向确定唯一
- (3) 载流导线周围的磁力线都是围绕电流的闭合曲线，没有起点和终点

➤  $\Phi$  — Flux, 标量

通过磁场中某一面积的磁力线数称为通过该面积的**磁通量**  
简称磁通，单位**Wb**

$$\Phi = BS \cos \theta$$

$$\Phi = \int_s d\Phi = \int_s B \cos \theta ds$$



**磁通连续性定理**

$$\oint_s B \cos \theta ds = 0$$

## • 磁场强度、磁导率

$H$  — Magnetic intensity, 矢量,  $A/m$

$\mu$  — Magnetic permeability,  $H/m$ , 由材料性质所决定

$$B = \mu H$$

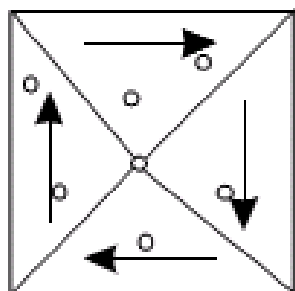
在电机中使用的材料，按照其导磁性能可分为：

- **非铁磁物质** 如空气、铜、铝和绝缘材料等，近似等于真空磁导率  $\mu_0$
- **铁磁物质** 如铁、镍、铝及其合金，磁导率远大于真空磁导率达数千甚至上万倍。通常以相对磁导率  $\mu_r$  表示铁磁物质的磁导率比真空磁导率增大的倍数

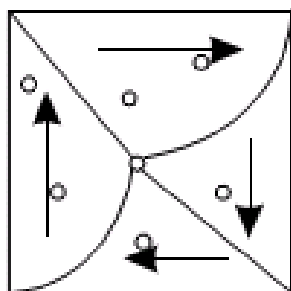


## •铁磁材料的B—H曲线

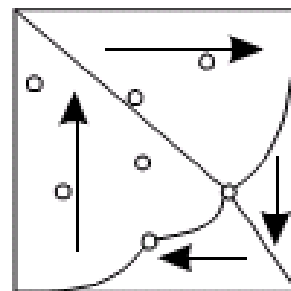
➤磁化—使原来没有磁性的物体具有磁性的过程



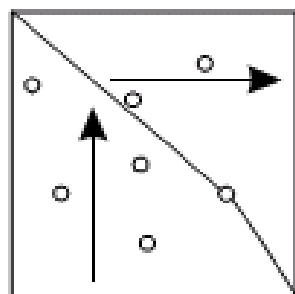
a.



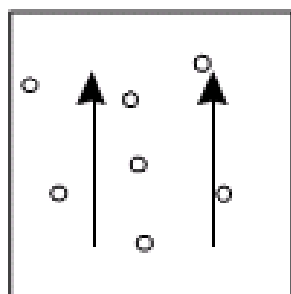
b.



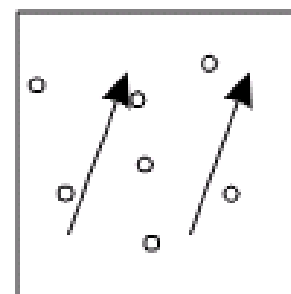
c.



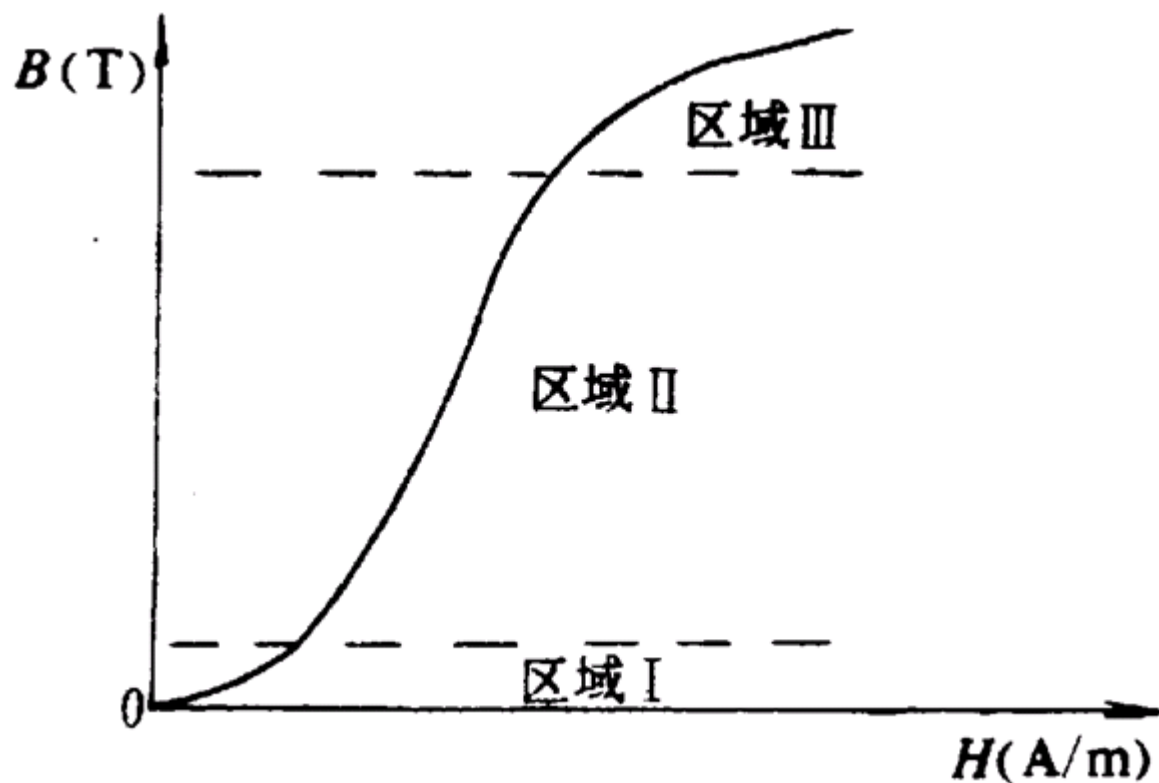
d.



e.



f.



起始段：区域I，磁导率较小

线性区：区域II，磁导率近似为常数

饱和区：区域III， $H$ 增大， $B$ 增长减慢

## ➤ 磁滞—Hysteresis

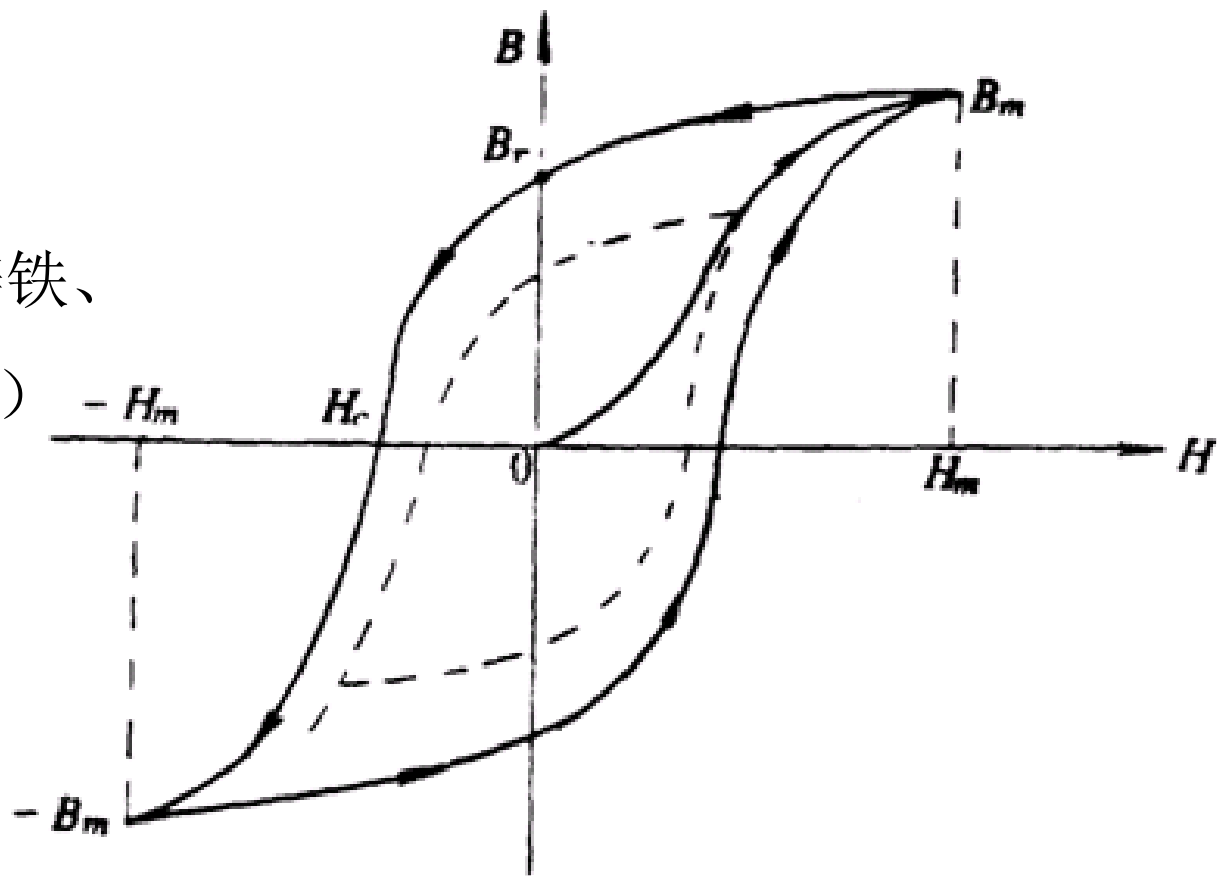
剩余磁感应强度  $B_r$

矫顽磁力  $H_c$

软磁材料：铸钢、铸铁、

电工钢片（硅钢片）

硬磁材料：永磁体



## •铁芯损耗 (core losses)

### ➤磁滞损耗 (hysteresis loss)

磁滞回线包含的面积，难以准确计算，工程上用经验公式进行计算

$$P_h = k_h V f B_m^n$$

### ➤涡流损耗 (eddy current loss)

**涡流**—交变磁场在铁芯内产生自行闭合的感应电流

涡流损耗是一种焦耳损耗，大小与涡流流过的路径有关，即电阻有关。正弦波电流所产生的交变磁场中的铁芯涡流损耗

$$P_e = \frac{d^2 V}{12 \rho_e} \frac{(2\pi f B_m)^2}{2} = k_e V (f B_m)^2$$





## •全电流定律

磁场强度矢量 $\mathbf{H}$ 沿任一闭合路径的线积分等于穿过该闭合路径的限定面积中流过电流的代数和。且积分回路的绕行方向和产生该磁场的电流方向符合右手螺旋定则

$$\oint_l H dl = \sum_{k=1}^n I_k$$

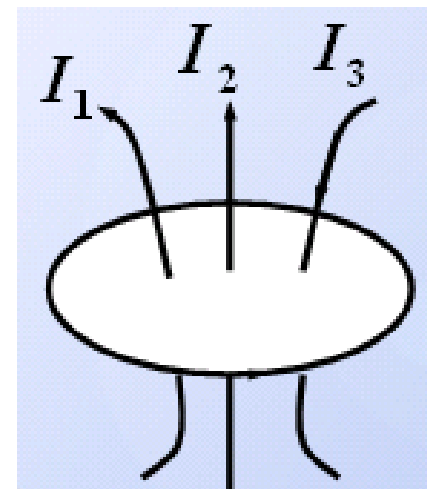
磁压： $\mathbf{H}$ 沿一条路径 $l$ 的线积分

$$U = \int_l H dl$$

磁动势：磁场回路所匝链的电流， $\mathbf{F}$ ，单位 $\mathbf{A}$

$$\sum U_i = \sum I_k = \sum F$$

沿着磁场任一闭合回路，其总磁压等于总磁动势



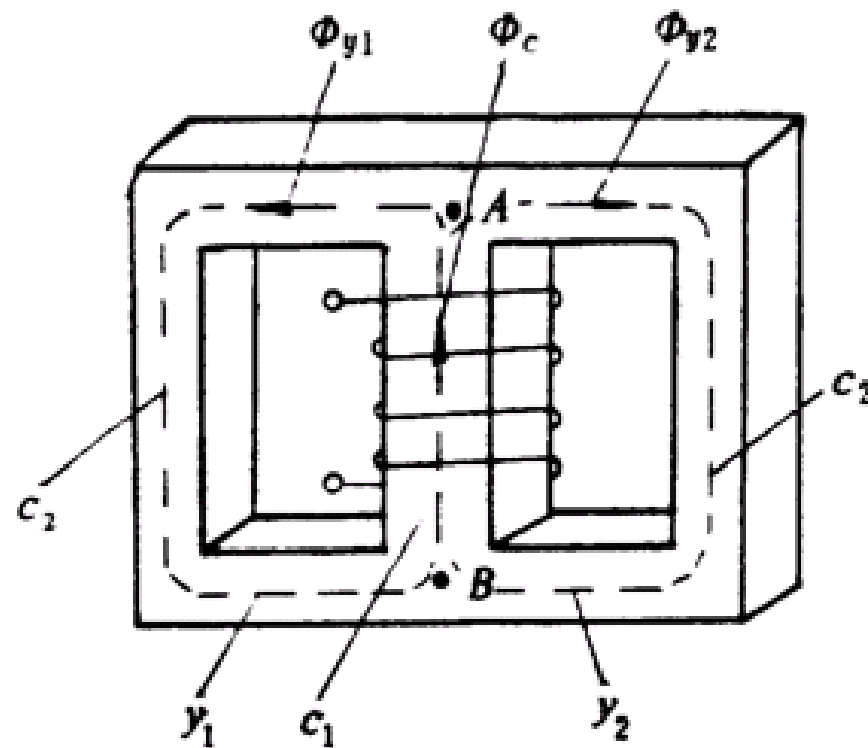
- 磁路基本定律

- 磁路欧姆定律

假设：

磁通完全在导磁体内部通过  
铁芯柱截面上**B**为均匀分布

$$R_{c1} = \frac{U_{c1}}{\Phi_{c1}} = \frac{H_{c1}l}{BS_{c1}} = \frac{l}{\mu S}$$



## ➤ 磁路的基尔霍夫第一定律

- 流入磁路节点的磁通的代数和应等于零

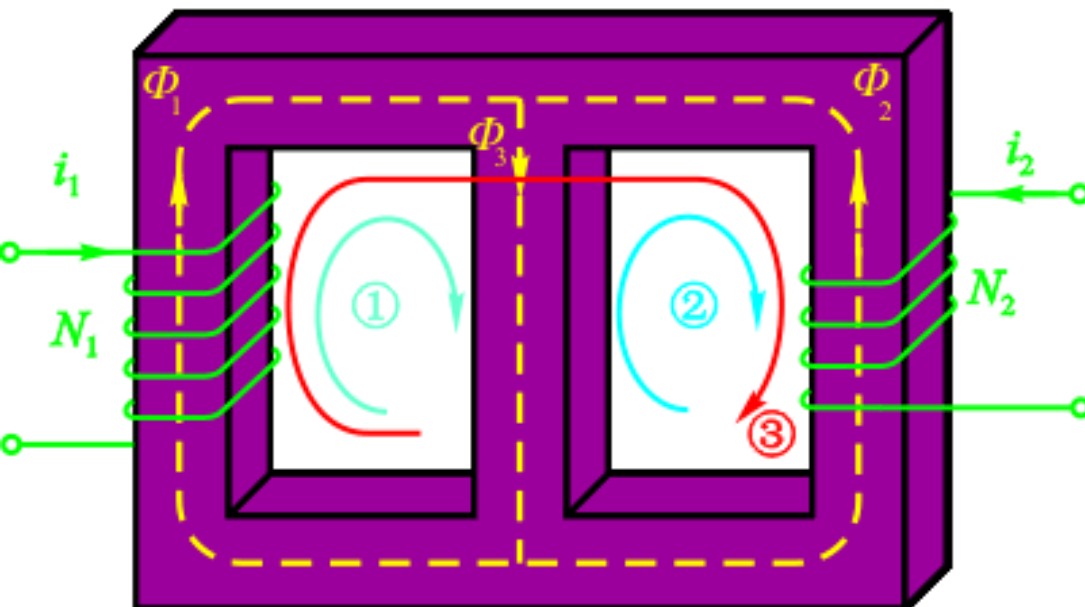
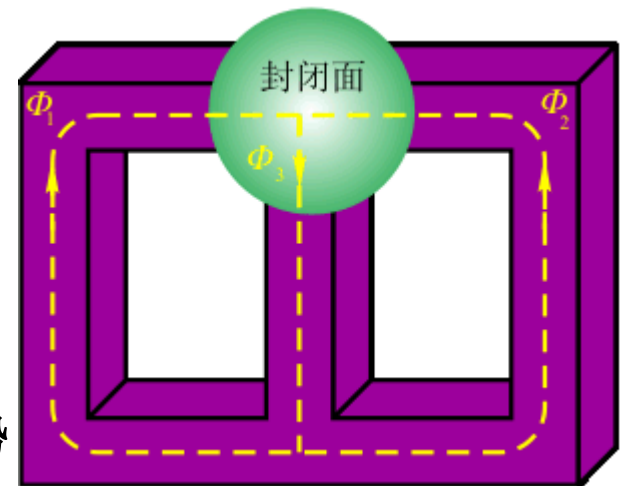
$$\Sigma \Phi = 0$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_3$$

## ➤ 磁路的基尔霍夫第二定律

- 沿着任一闭合回路，其总磁压等于总磁势

$$\Sigma F = \Sigma Ni = \Sigma Hl = \Sigma \Phi R_m$$

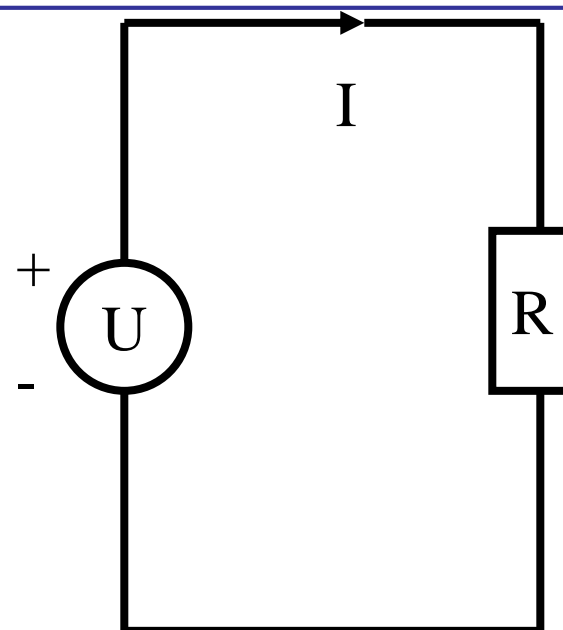
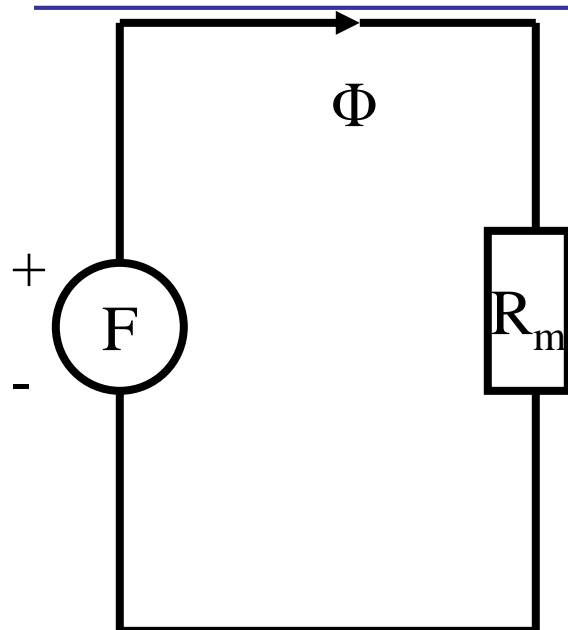


$$\text{回路①: } H_1 l_1 + H_3 l_3 = N_1 i_1$$

$$\text{回路②: } -H_2 l_2 - H_3 l_3 = -N_2 i_2$$

$$\text{回路③: } H_1 l_1 - H_2 l_2 = N_1 i_1 - N_2 i_2$$

# 电机的磁路和磁路定律



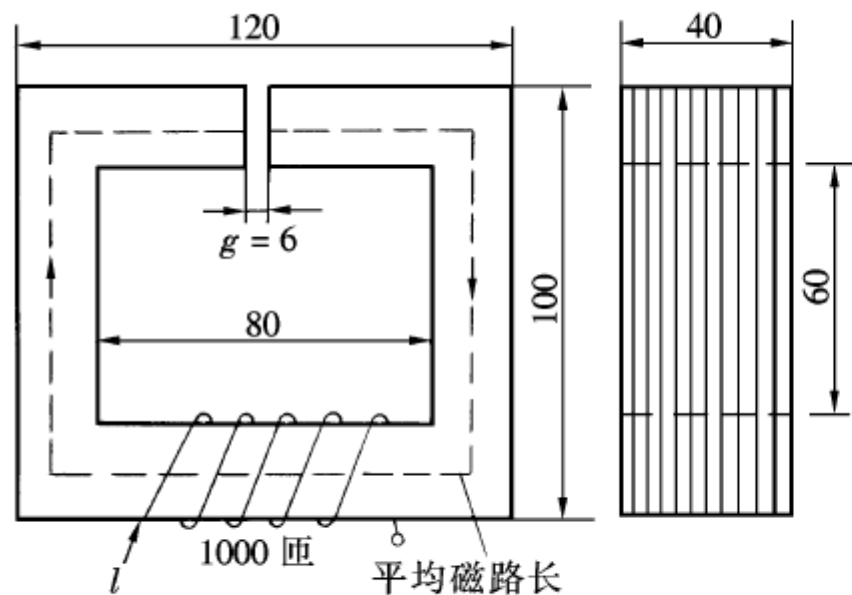
磁路	电路
磁通 $\Phi$	电流 $i$
磁动势 $F$	电动势 $e$
磁阻 $R_m$	电阻 $R$
磁压降 $HI$	电压降 $u$
磁导 $\Lambda_m$	电导 $G$
欧姆定律 $\Phi = F/R_m$	欧姆定律 $i = u/R$
基氏第一定律 $\Sigma \Phi = 0$	基氏第一定律 $\Sigma i = 0$
基氏第二定律 $\Sigma F = \Sigma HI = \Sigma \Phi R_m$	基氏第二定律 $\Sigma e = \Sigma u = \Sigma iR$



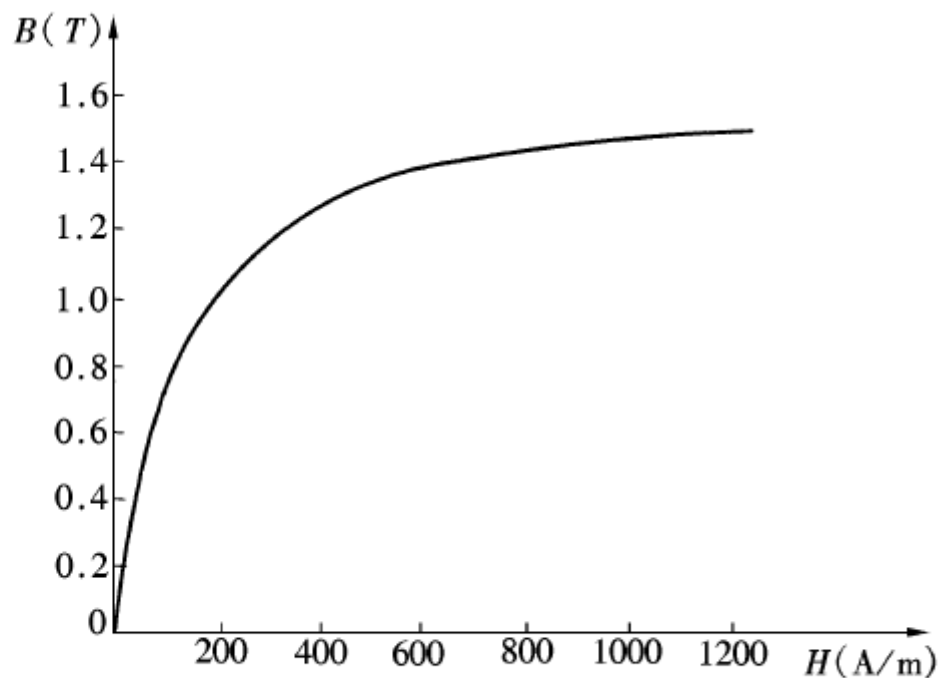


# 电机的磁路和磁路定律

【例 1-1】 图 1-6 (a) 所示磁路由硅钢片叠成，图 1-6 (b) 所示为硅钢片的磁化曲线。图中尺寸的单位是 mm，励磁线圈有 1000 匝。试求当铁芯中磁通为  $1 \times 10^{-3} \text{ Wb}$  时，励磁线圈的电流应是多少。



(a)



(b)

# 电机的磁路和磁路定律

解：设铁芯的叠片因数（叠片净厚度与总厚度之比）为 0.94，则铁芯的净面积为

$$S_i = 20 \times 10^{-3} \times 40 \times 10^{-3} \times 0.94 = 0.752 \times 10^{-3} (\text{m}^2)$$

铁芯磁路的平均长度为

$$l_i = 2(100 + 80) - 6 = 354 (\text{mm}) = 0.354 (\text{m})$$

铁芯中的平均磁通密度为

$$B_i = \frac{\Phi}{S_i} = \frac{1 \times 10^{-3}}{0.752 \times 10^{-3}} = 1.33 (\text{T})$$

由图 1-6 (b) 的磁化曲线查得相应的铁芯磁场强度为 560 A/m。铁芯段磁路所需的磁动势为

$$F_i = H_i l_i = 560 \times 0.354 = 198 (\text{A})$$

不计气隙处磁通的扩散现象，则气隙磁通与铁芯中的磁通相同，因此气隙的磁场强度和气隙段磁路所需的磁动势为

$$B_g = \frac{\Phi}{S_g} = \frac{1 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-3} \times 40 \times 10^{-3}} = 1.25 (\text{T})$$

$$H_g = \frac{B_g}{\mu_0} = \frac{1.25}{1.257 \times 10^{-6}} = 0.994 \times 10^6 (\text{A/m})$$

$$F_g = H_g l_g = 0.994 \times 10^6 \times 6 \times 10^{-3} = 5964 (\text{A})$$

该磁路所需的总磁动势为

$$F_1 = F_i + F_g = 198 + 5964 = 6162 (\text{A})$$

励磁线圈所需电流为

$$I = \frac{F_1}{N} = \frac{6162}{1000} = 6.162 (\text{A})$$

由该题可见，铁芯段虽然长度较气隙长了近 60 倍，但其所需的磁动势却仅占总磁动势的 3.1%。因此，在估算时往往可以只计算气隙段所需磁动势，亦不会带来太大的误差。

## • 磁场储能

磁场是一种特殊形式的物质，磁场中能够储存能量，在磁场建立过程中，能量由外部能源转换而来。

## 体积能量密度

$$w_m = \int_0^B H dB$$

电机通过磁场储能来实现机、电能量转换，磁场能量主要存储在气隙中。



## •电感

磁链  $\Psi$  — linkage, 穿过线圈的磁通

对于磁路的磁导率为恒值时, 或气隙磁路起主导作用时,  
磁链与流过线圈的电流之间有正比关系

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} = \frac{N\Lambda F}{I} = \frac{N\Lambda IN}{I} = \Lambda N^2 = \frac{N^2}{R_m}$$

- 电感与线圈匝数的平方成正比, 和磁场介质的磁导亦成正比关系, 而和线圈所加的电压、电流或频率无关。
- 电机的电感 (电抗) 与电机磁路的饱和有关
- 电机的电感(电抗)与电机的电、磁结构有关
- 对应不同的磁通需引用多种不同的电抗



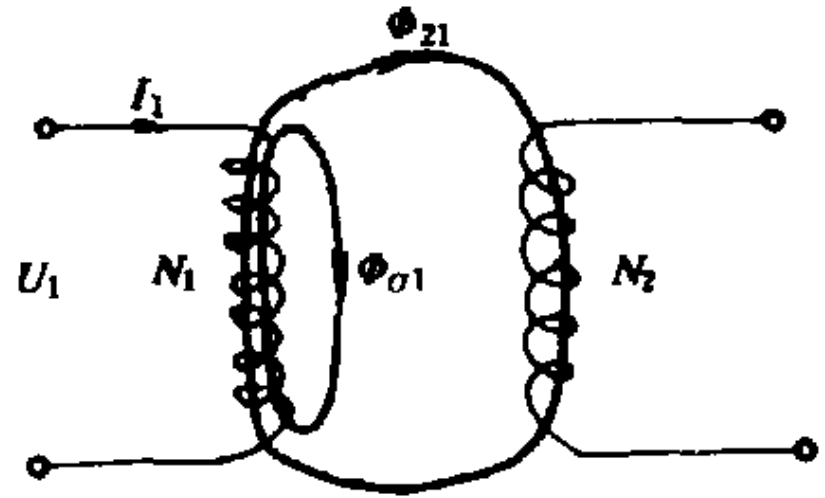


电感L—inductance, 单位电流所产生的磁链, 单位H

自感 self inductance

互感 mutual inductance

漏电感 leak inductance



当线圈流过正弦交流电时, 线圈电感的作用常用相应的电抗 ( reactance ) 来表示

$$\frac{U}{I} = \omega L = X_L$$

电抗与电感成正比, 与交变频率成正比。因为电感与磁场介质的磁导成正比, 与磁阻成反比, 就和磁导率成正比, 所以电机的电抗与电机磁路的饱和有关。

## •电磁感应定律

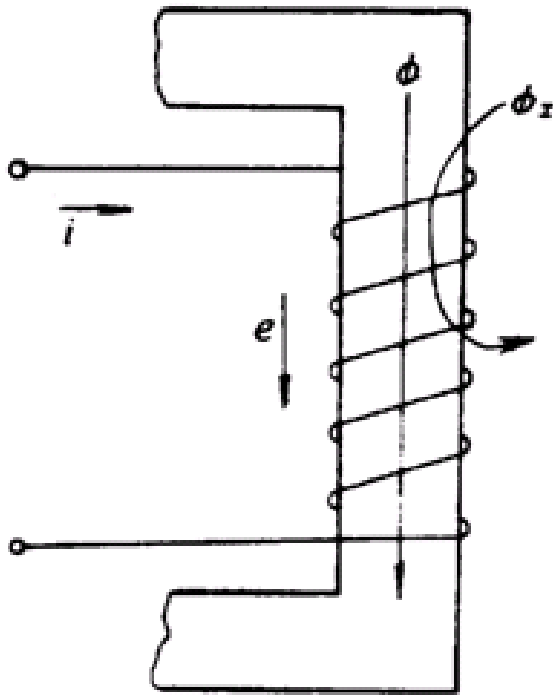
设有一线圈位于磁场中，当该线圈中的磁链发生变化时，线圈中将有**感应电动势**(简称电势， Electromotive Force, EMF)产生。

感应电势的数值与线圈所匝链的磁链的变化率成正比

$$e = -\frac{d\psi}{dt}$$

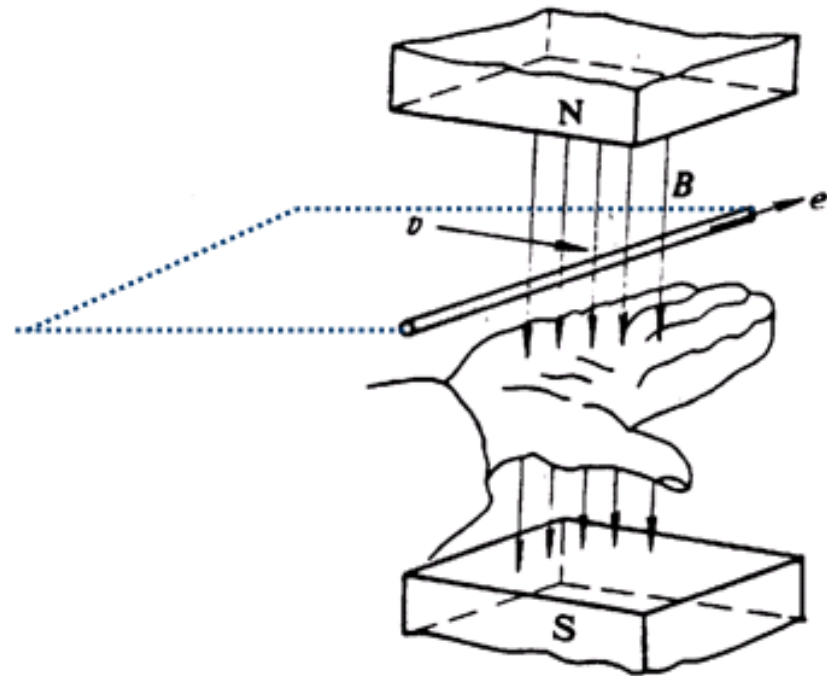
线圈中的感应电势将倾向于阻止线圈中磁链的变化





变压器电动势

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

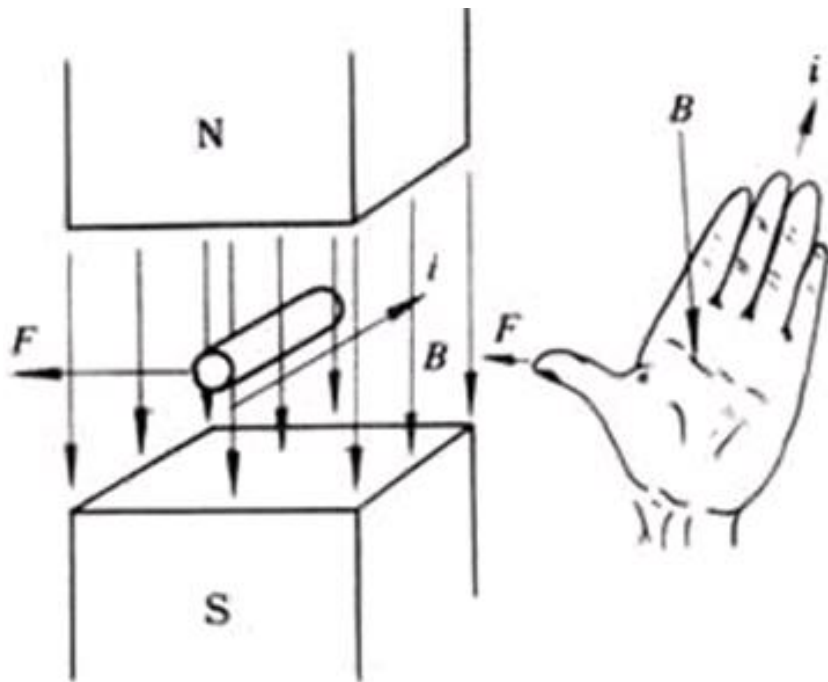


运动电动势

$$e = Blv$$

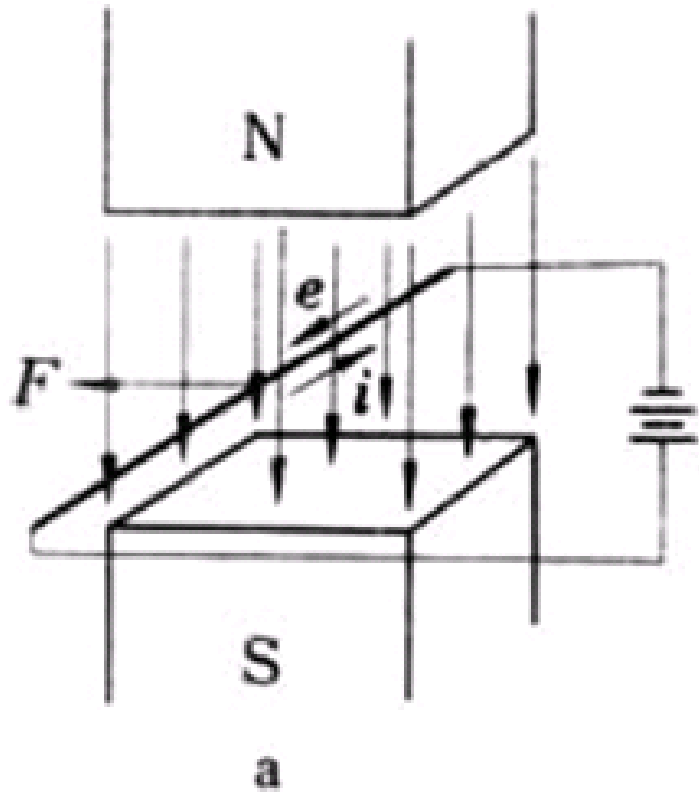
## •电磁力和电磁转矩

电磁力—**electromagnetic force**，载流导体在磁场中会受到力的作用

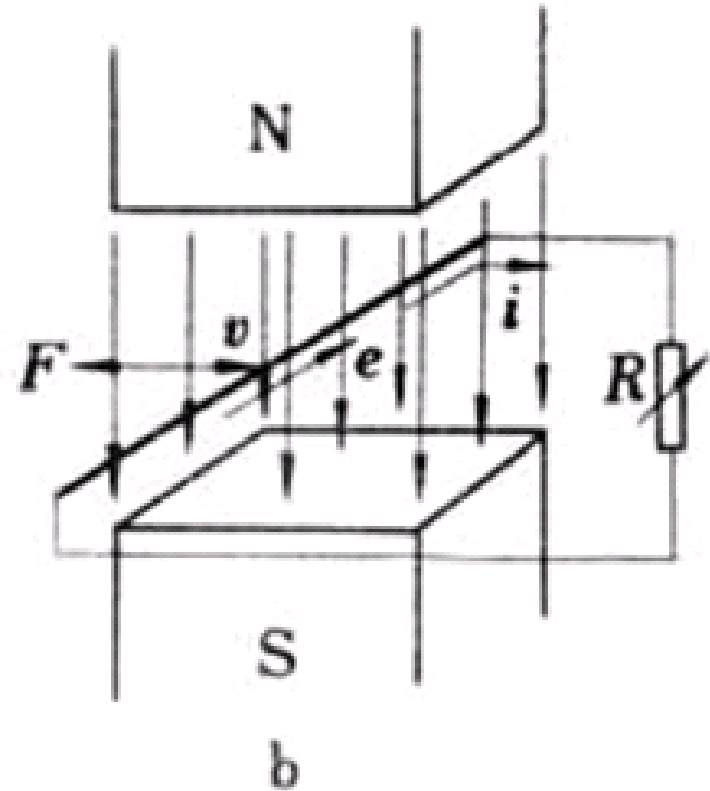


电磁转矩—**electromagnetic torque**，导体上所受的电磁力，乘以从导体至旋转轴之间的距离





$i \rightarrow Fe \rightarrow v$  电动机



发电机  $v \rightarrow e \rightarrow i$

## • 电机的可逆性原理

- 如在电机轴上外施机械功率，通过电机导体在磁场中作用产生感应电势可输出电功率；如在电机电路中从电源输入电功率，则载流导体在磁场作用下可使电机旋转而输出机械功率。
- 任何电机既可以作为发电机运行，又可以作为电动机运行
- 不论用作发电机或电动机，感应电势和电磁力都同时作用于导体。



## ➤ 导电材料

铜、铝、超导

## ➤ 导磁材料

硅钢片、非晶合金、软磁复合材料

## ➤ 永磁材料

铁氧体、铝铁硼、铝镍钴

## ➤ 绝缘材料

非常多种,云母、石棉、棉布、树脂、漆、矿物油

## ➤ 机械支撑材料



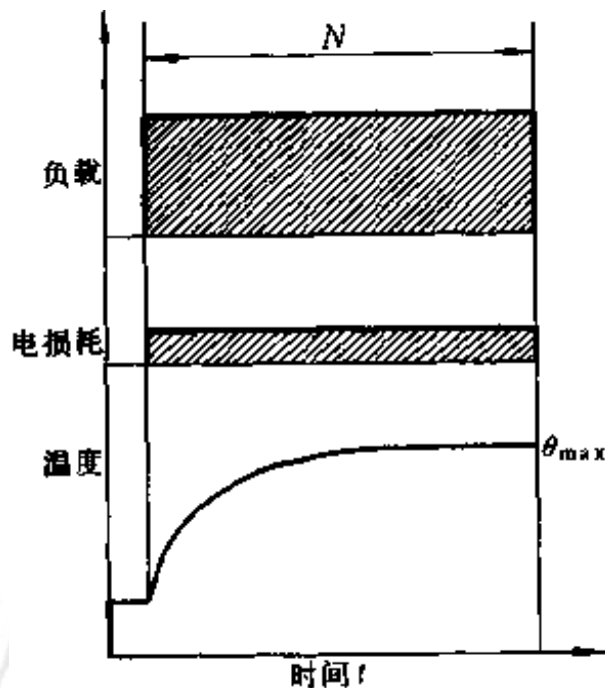
- 定子：静止部件，铁芯、绕组
- 转子：旋转部件，铁芯、绕组、轴
- 轴承
- 机座
- 其它附属结构
  - 集电环与换向器。是构成旋转部分导电的滑动接触的结构。
  - 接线盒。可靠固定输入电能的各种导体端子，并使之与机座可靠绝缘的部件。
  - 风扇。对于发电机和非调速电动机，可采用轴上自带风扇来进行通风降却，风扇结构型式有径向风扇、轴向风扇、斗式风扇等。
  - 端罩(或端盖)。防止维护、值班人员碰到旋转、带电部分的部件。
  - 附件。如测速发电机、超速继电器、脉冲发生器等。是调速电动机速度信号检测和防止飞逸的装置。

电机容量选择决定于电机的负荷和机械结构强度，即取决于电动机的温升和机械应力，电动机的温升则与其负载大小、运行方式以及通风冷却方式有关，电动机的运行方式(即工作制)是选型时必须要考虑的重要因素。

**GB755-87**旋转电机基本技术要求中规定，电机额定的工作制分为如下九类。

## 1. 连续工作制——S1工作制

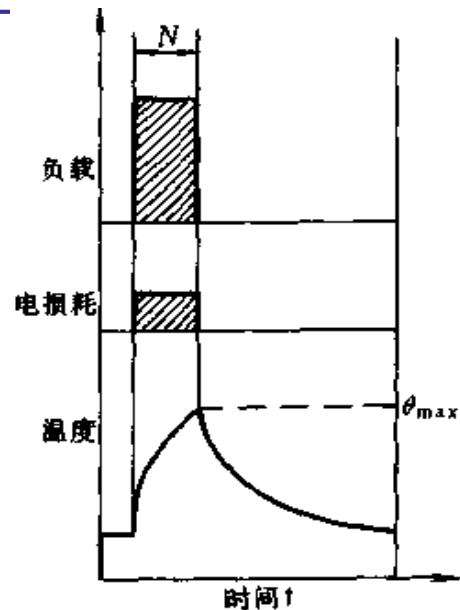
电动机带不变负荷运行，其持续时间足以达到热平衡





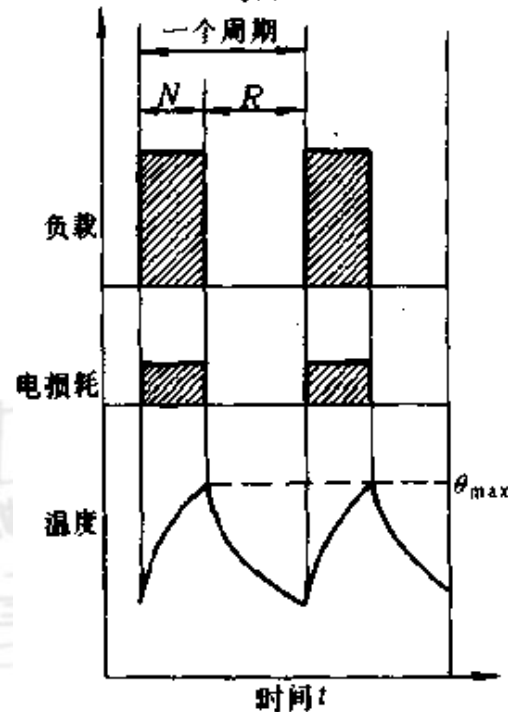
## 2. 短时工作制——S2工作制

带负荷运行时间很短，不能达到热平衡。  
随之间隔时间很长，实际上已使电机温度降到冷却介质温度



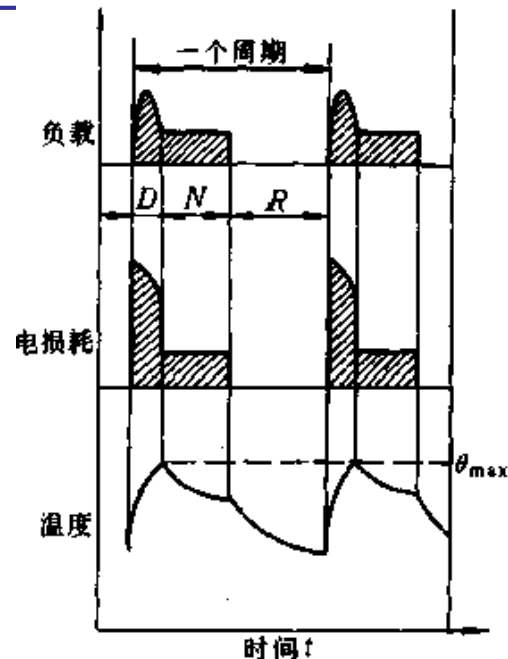
## 3. 断续周期工作制——S3工作制

电动机按相同周期运行，每一个周期包括一段恒定负载运行和一段间歇时间，  
无论是负荷时间或是冷却时间都不足以在这段时间内达到热平衡，并假设起动电流对温升没有显著影响



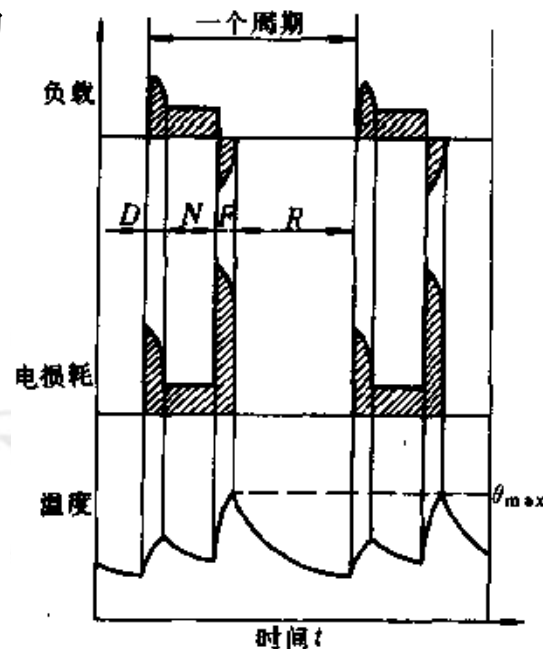
## 4. 包括起动的断续周期工作制——S4工作制

电动机按相同的工作周期运行，每一周期都包括一段对温升有显著影响的时间，一段恒定负载的时间和一段间歇时间



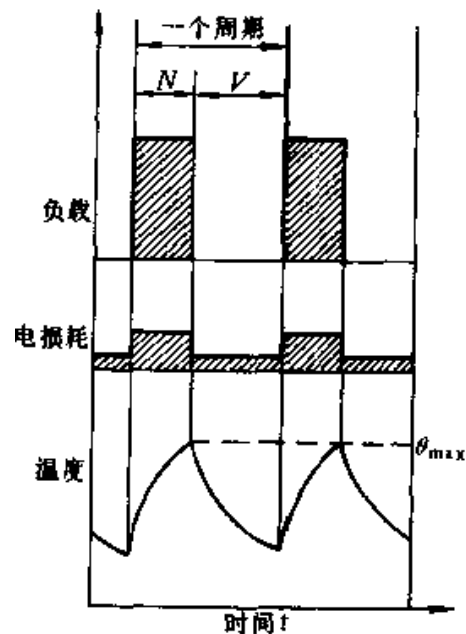
## 5. 包括电制动的断续周期工作制——S5工作制

电动机运行周期中，包括一段对温升有显著影响的起动时间、一段恒定负载的时间、一段快速电制动的时间和一段间歇时间，这些时间都不足以在该时间间隔内达到热平衡



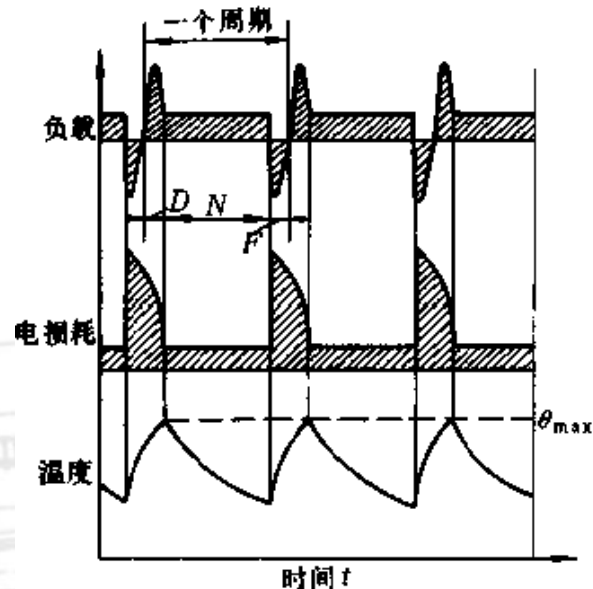
## 6. 连续周期工作制——S6 工作制

电动机每一运行周期中，包括一段恒定负载运行时间和一段空转时间，但无间隔时间



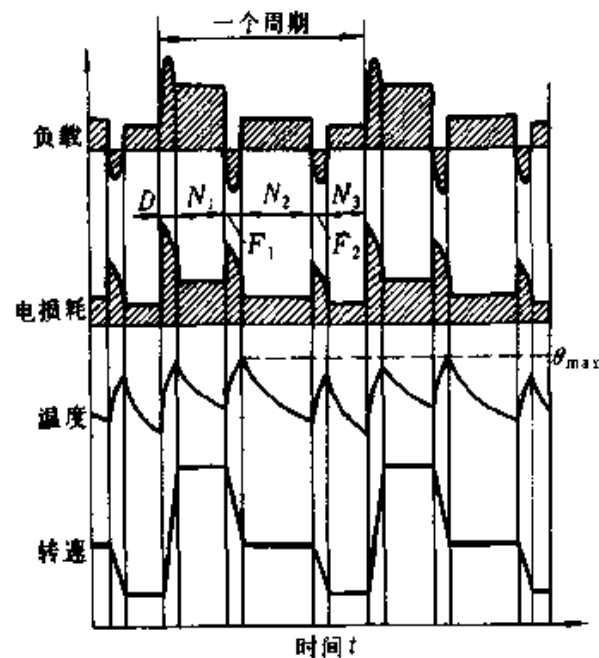
## 7. 包括电制动的连续周期工作制——S7工作制

电动机每一运行周期中，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负荷时间和一段电制动时间，但无间歇时间



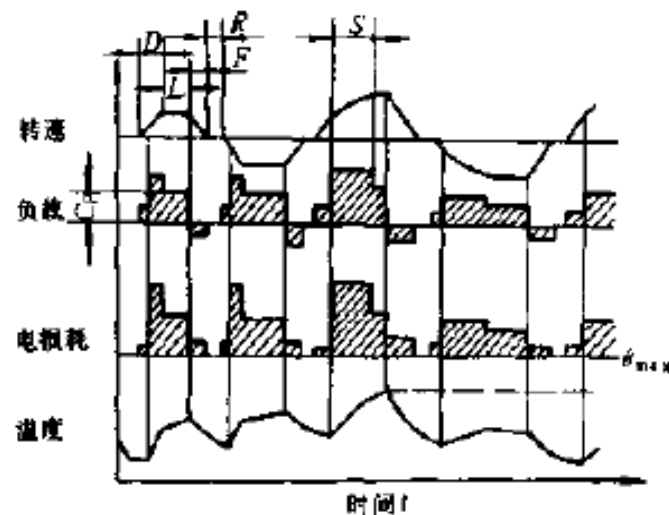
## 8. 包括变速变负荷的连续周期工作制——S8工作制

电动机工作周期中，包括一段在一种速度下的恒定负荷时间，和其他转速下恒定负荷的时间，但无间歇时间



## 9. 负载和转速非周期变化工作制——S9工作制

电动机的负载和转速，在允许范围内变化的非周期工作制，这种工作制度包括经常过载，其值可远远超过满载



## 1.电机的损耗

电机的输入功率为 $P_1$ ，其输出功率为 $P_2$ 时，输出功率与输入功率之比为电机效率 $\eta$

$$\eta = P_2 / P_1 \times 100(\%)$$

输入功率与输出功率之差，就是电机在能量转换过程中产生的各种损耗之和 $\Sigma Q$

$$\Sigma Q = P_1 - P_2 (\text{kW})$$

$\Sigma Q$ 中包括电机各种绕组产生的铜耗；铁心中因磁滞和涡流产生的铁损；励磁损耗；在滑动接触中的电刷接触损耗，由于磁通脉动和集肤效应等造成的附加损耗，通风和机械摩擦造成损耗等

所有电机内部产生的各种损耗，最终都将转化成热能形式散逸，使绕组、铁心、轴承、换向器、滑环等部位发热和温度升高，电机必须用自带风扇或外鼓风把损耗产生的热量带走，否则会使发热部分温度升高超过绝缘结构允许温升而使其老化和破坏，这就是通风冷却的目的



## (1)自冷冷却

冷却空气由安装在转子上的风扇吹送的，通常用于转速不变或变化很小的电动机上。

## (2) 表面冷却

热量由电机表面向周围介质散发，通常用于带散热筋的封闭式电动机。

## (3)开路通风

电机由连续更换的冷却空气散热。

## (4)外部冷却

电机由单独的通风机来冷却。

## (5)循环冷却

电机通过中间介质散热，中间介质在电机和散热器之间连续循环。



## (一)对绝缘结构的要求

绕组是实现能量交换的主要部件，是由导电性良好的导体和不导电的绝缘层所构成，导体的作用是构成电机的电路。绝缘层的作用是隔离电路与磁路、导体之间、以及带电导体与地之间不同的电位。为了减少铁心中涡流产生的损耗和阻尼作用，铁心叠片之间也用绝缘作为隔离层，通常是极薄的一层漆膜。

电机内的绝缘层往往是由几种绝缘材料组成，并经过各种绝缘工艺处理。如包绕、烘压、浸漆、表面处理等，这种由多种绝缘材料经过加工和特殊处理形成的复合绝缘层，通常称为绝缘结构。绝缘结构比单一的绝缘材料具有更好的电气性能、防潮性能，机械强度、导热性和整体性。电机内因有数种绕组，往往有几种不同的绝缘结构，它们全体构成了电机的绝缘系统。



## (二)绝缘结构组成单元

**(1)匝间绝缘。**用来隔离同绕组内不同电位的导体，片间绝缘与股线绝缘也属匝间绝缘性质，其承受电压较低。

**(2)对地绝缘。**是主绝缘，承受对地电压，其作用是隔离地与导体之间电位，要求有较高的电气强度.绝缘层的厚度根据电机的电压等级来确定。

**(3)层间绝缘。**用来作为上、下层导线，或上、下层绕组间的绝缘，要求具有较好的弹性和韧性。

**(4)保护绝缘。**用来保护主绝缘，使主绝缘减少制造过程和运行过程受到的机械损伤。保护绝缘要求具有某种好的机械性能，而不要求过高的绝缘性能，保护绝缘最常见的是线圈最外层的保护布带、槽衬等。

**(5)支撑绝缘。**主要用来使绕组和带电部件在电机内能可靠的定位和固定，槽楔、引线夹板、端子板、端部绑扎机等皆属支撑绝缘，支撑绝缘要求有较好的强度，并在长期工作中不应变形。

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
极限允许温度 (°C)	90	105	120	130	155	180	>180
额定温升 (摄氏度)	50	65	80	90	115	140	>140

